

УДК 621.316.71

Андрієнко Даніл Сергійович, асп.

Запорізький національний технічний університет, м. Запоріжжя, Україна, вул. Жуковського, 64, м. Запоріжжя, 69063. Тел. +38(061)769-83-95. E-mail: andrpd@ukr.net.

Андрієнко Петро Дмитрович, д-р. техн. наук, проф., завідувач кафедри «Електричні та електронні апарати»

Запорізький національний технічний університет, м. Запоріжжя, Україна. Вул. Жуковського, 64, м. Запоріжжя, 69063. Тел. +38(061)769-83-95. E-mail:andrpd@ukr.net.

Коцур Михайло Ігорович, канд. техн. наук, доц. кафедри «Електричні та електронні апарати»

Запорізький національний технічний університет, м. Запоріжжя, Україна, вул. Жуковського, 64, м. Запоріжжя, 69063. Тел. +38(050)676-02-92. E-mail:kotsur_m@ukr.net.

Коцур Ігор Михайлович, канд. техн. наук, доц. кафедри «Електричні машини»

Запорізький національний технічний університет, м. Запоріжжя, Україна, вул. Жуковського 64, м. Запоріжжя, 69063. E-mail:kotsur@zntu.edu.ua.

ПЕРЕТВОРЮВАЧ ДЛЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ УЗГОДЖЕНОГО ОБЕРТАННЯ АСИНХРОННИХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ

Запропонована схема імпульсного перетворювача для узгодженого обертання двох асинхронних двигунів з фазним ротором з обмеженням по заданому пусковому струму. Побудовані залежності неузгодженості швидкостей у момент пуску двох асинхронних двигунів з фазним ротором у режимах прямого пуску та з обмеженням по заданому пусковому струму при різних значеннях частоти коливання пружних зв'язків та моментів інерції механізмів крана.

Ключові слова: перетворювач, регулювання, двигун, рекуперація, швидкість, частота.

Андрієнко Данил Сергеевич, асп.

Запорожский национальный технический университет, г. Запорожье, Украина, ул. Жуковского, 64, г. Запорожье, 69063. Тел. +38(061)769-83-95. E-mail: andrpd@ukr.net.

Андрієнко Петро Дмитрієвич, д-р. техн. наук, проф., заведуючий кафедрой «Электрические и электронные аппараты»

Запорожский национальный технический университет, г. Запорожье, Украина, ул. Жуковского, 64, г. Запорожье, 69063. Тел. +38(061) 769-83-95. E-mail:andrpd@ukr.net.

Коцур Михаил Игоревич, канд. техн. наук, доц. кафедры «Электрические и электронные аппараты»

Запорожский национальный технический университет, г. Запорожье, Украина, ул. Жуковского, 64, г. Запорожье, 69063. Тел. +38(050)676-02-92. E-mail:kotsur_m@ukr.net.

Коцур Игорь Михайлович, канд. техн. наук, доц. кафедры «Электрические машины»

Запорожский национальный технического университета, г. Запорожье, Украина, ул. Жуковского, 64, г. Запорожье, 69063, E-mail:kotsur@zntu.edu.ua.

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ДЛЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СОГЛАСОВАННОГО ВРАЩЕНИЯ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ

Предложена схема импульсного преобразователя для согласованного вращения двух асинхронных двигателей с фазным ротором с ограничением по заданному пусковому току. Построены зависимости рассогласования скоростей в момент пуска двух асинхронных двигателей с фазным ротором в режимах прямого пуска и с ограничением по заданному пусковому току при разных значениях частоты колебания упругих связей и моментов инерции механизмов крана.

Ключевые слова: преобразователь, регулирование, двигатель, рекуперация, скорость, частота.

Andrienko Danil Sergeevich, Ph. D. student of Zaporozhie National Technical University, Zaporozhie, Ukraine. Zhukovskogo 64, Zaporozhie, 69063. Phone +38(061)769-83-95. E-mail: andrpd@ukr.net.**Andrienko Petro Dmitrievich**, Ph. D, professor, head of department of Electric and electronic apparatus Zaporozhie National Technical University, Zaporozhie, Ukraine. Zhukovskogo 64, Zaporozhie, 69063. Phone. +38(061) 769-83-95. E-mail:andrpd@ukr.net.**Kotsur Michael Igorevich**, Ph. D, associate professor of department of Electric and electronic apparatus Zaporozhie National Technical University, Zaporozhie, Ukraine. Zhukovskogo 64, Zaporozhie, 69063. Phone. +38(050)676-02-92. E-mail:kotsur_m@ukr.net.**Kotsur Igor Michaylovich**, Ph. D, associate professor of department of Electric machine Zaporozhie National Technical University, Zaporozhie, Ukraine. Zhukovskogo 64, Zaporozhie, 69063, E-mail:kotsur@zntu.edu.ua.**INVERTOR FOR ELECTRIC DRIVE OF COORDINATE ROTATION OF ASYNCHRONOUS MOTOR WITH PHASE ROTOR**

Aim is to develop and research energy-efficient inverter providing acceptable static and dynamic characteristics of the drive coordinated rotation of induction motors with phase rotor. As a result of developed and investigated pulse converter circuit for the coordinated rotation of the two induction motors with phase rotor restricted specified starting current. Using pulse converter restricted given the starting current during start-up mode provides a reduction in the error $1,2 \div 1,8$ times depending on the natural frequency resilient links of the crane. Proposed pulse converter also provides slip energy recuperation in the formation of static and dynamic characteristics at a rather simple implementation circuit that ensures its reliability. Circuit can be recommended for the modernization of electric induction motor with phase rotor mechanism for moving the crane.

Key words: inverter, regulation, motor, recuperation, speed, frequency

Введение

Основная масса эксплуатируемых кранов имеют электроприводы с релейно-контакторным управлением, которые обладают рядом общеизвестных недостатков: низкий коэффициент мощности, нет возможности реализации плавности хода крана. Последний приводит к существенному износу составных частей механизмов передвижения, что обусловлено появлением кривизны колесных пар и рельсов крана. Следствием этого является появление неудовлетворительных характеристик для согласованного вращения двигателей [1–5].

Современная тенденция устранения указанных недостатков связано с применением частотного регулируемого электропривода [6–8]. Однако такое решение приводит к существенному усложнению, а также удорожанию электропривода.

Для модернизации крановых механизмов предложены ряд технических решений на основе параметрических источников тока [9–11]. Указанные решения достаточно просты, но обладают рядом недостатков, которые связаны с увеличенным установленной мощности индуктивно ёмкостного преобразователя.

Целью работы является разработка и исследование энергоэффективного преобразователя, обеспечивающего приемлемые статические и динамические характеристики привода согласованного вращения асинхронных двигателей с фазным ротором.

Основные результаты

Принцип построения преобразователя основан на формировании пусковых и регулировочных характеристик на основе импульсно-токового управления в цепи ротора асинхронного двигателя с фазным ротором (АДФР). Такой способ позволяет использовать современные достижения в силовой электронике, а именно объединить достоинство импульсного управления АДФР с возможностью рекуперации энергии аналогично схемам асинхронно-вентильного каскада [12–14].

Силовая схема преобразователя представлено на рис. 1.

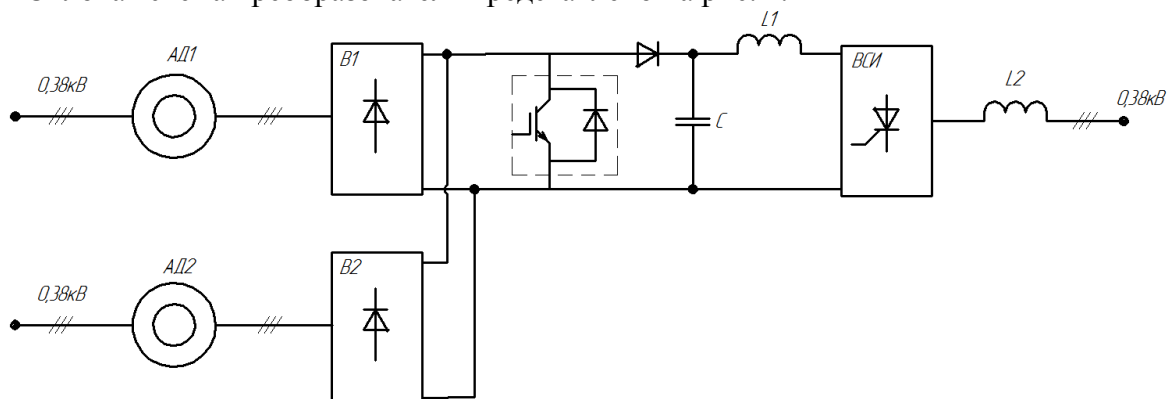


Рис. 1 Силовая схема импульсного преобразователя асинхронных двигателей с фазным ротором

Основным преимуществом схемы является:

- ведомый сетью инвертор работает с постоянным углом опережения $\beta = 30^\circ$;

- напряжение на конденсаторе C поддерживается с помощью импульсного преобразователя повышающего напряжения (ИППН);
- роторы двух АДФР соединены параллельно при помощи неуправляемых выпрямителей $B1$ и $B2$.

Работа ведомого сетью инвертора с постоянным углом $\beta = 30^\circ$ обеспечивает рекуперацию энергии скольжения с коэффициентом мощности равным

$$\cos\varphi = \cos\left(\beta - \frac{\gamma}{2}\right)$$

где γ – угол коммутации.

Значение $\cos\varphi$ находится в пределах 0,86–0,94, что соответствует диапазону коэффициентов мощности наиболее используемых серий крановых двигателей. Поэтому можно считать, что коэффициент мощности будет определяться коэффициентом мощности АДФР при рекуперации энергии скольжения в процессе его пуска и реверса.

При выходе АДФР на естественную характеристику, ключ ИППН закорачивает ротор и энергетические характеристики привода определяются режимом работы АДФР.

Импульсный преобразователь повышающего напряжения, в момент пуска АДФР, работает в импульсном режиме с заданным пусковым током двух АДФР. Частота работы ключа ИППН определяется постоянной времени роторной цепи и величиной размаха ΔI , которая определяется как разность максимальной и минимальной величины выпрямленного тока выпрямителей $B1$ и $B2$.

Для реализации преимущественных скоростей АДФР для импульсного регулятора вводится обратная связь. Вид обратной связи зависит от требований к жёсткости механических характеристик. Наибольшая жёсткость обеспечивается при наличии датчиков скорости или скольжения. Наименьшая – при косвенном изменении напряжения ротора.

Импульсный преобразователь повышающего напряжения обеспечивает сброс энергии скольжения на конденсатор C с последующей рекуперацией ее в сеть через ВСН (рис. 1.).

Для проведения исследования согласованного вращения двух АДФР в среде MatLAB с помощью структурных средств Simulink разработана имитационная модель системы импульсного преобразователя с двумя АДФР с параметрами $C = 400$ мкФ, $L1 = 15$ мГн, $L2 = 35$ мГн. В качестве объекта исследования используются два АДФР типа МТФ-111-6, $P_n = 3,5$ кВт ($P_B = 0,4$) и $M_n = 45$ Нм. Рассогласование усилий сопротивления двух плеч крана в модели представлено в виде динамических моментов сопротивления по синусоидальному закону в противофазе одного двигателя относительно второго для получения максимального разброса момента

$$M_{\partial\phi 1} = M_n \cdot \frac{1}{2} \cdot [1 + \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t)],$$

$$M_{\partial\phi 2} = M_n \cdot \frac{1}{2} \cdot [1 + \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t + \pi)],$$

где f – частота колебания упругих связей первого и второго плеч крана соответственно.

На рис. 2 и рис. 3 показаны зависимости рассогласования скоростей ($\Delta\omega$) в момент пуска двух АДФР в режимах прямого пуска и с ограничением по заданному пусковому току при разных значениях частоты колебания упругих связей и моментов инерции АДФР. Анализ зависимостей показывает, что использование импульсного преобразователя с ограничением по заданному пусковому току в период пуска обеспечивает уменьшение рассогласования в 1,2–1,8 раза в зависимости от частоты собственных колебаний упругих связей плеч крана. Чем меньше эта частота, тем выше эффективность от применения импульсного преобразователя. При разных значениях момента инерции величина

рассогласования скоростей АДФР для двух режимов пуска снижается, однако их разница относительно этих режимов при разных значениях частоты собственных колебаний не изменяется.

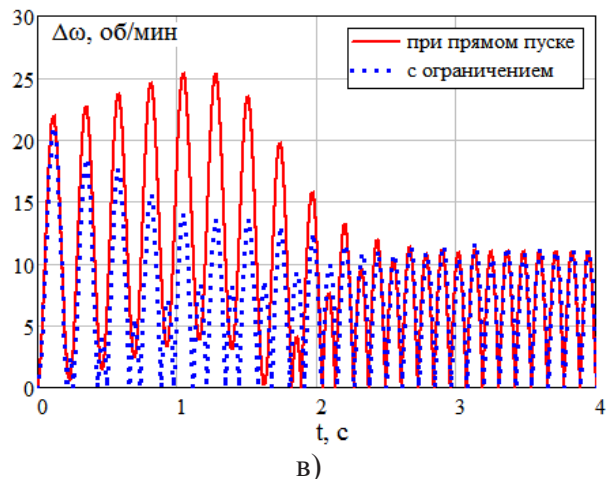
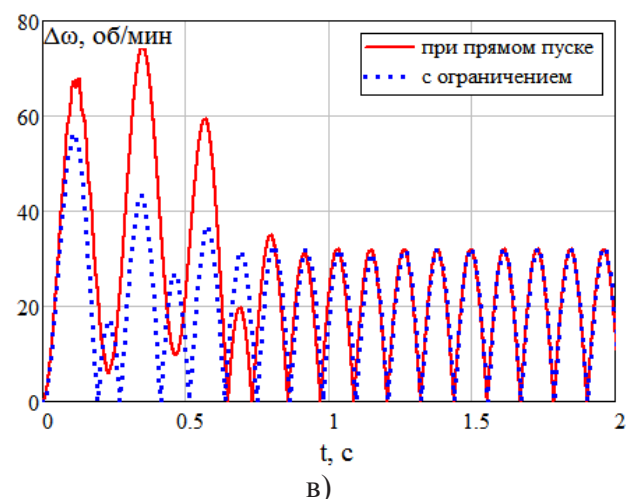
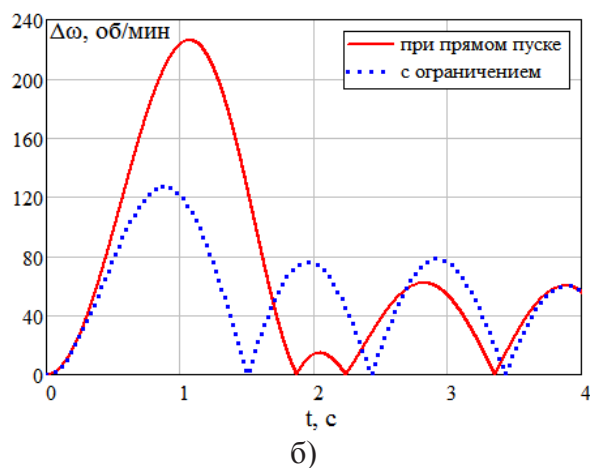
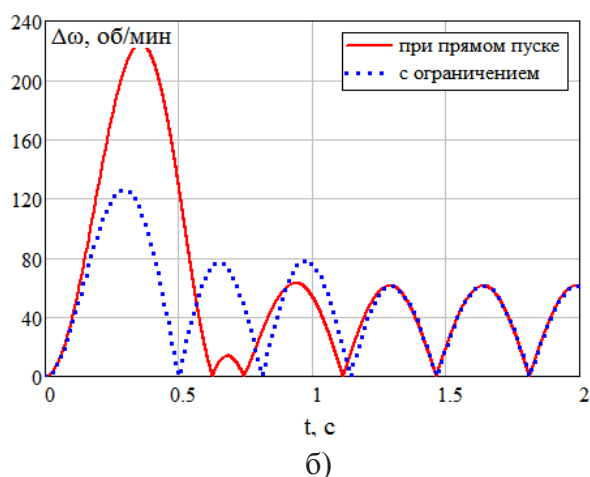
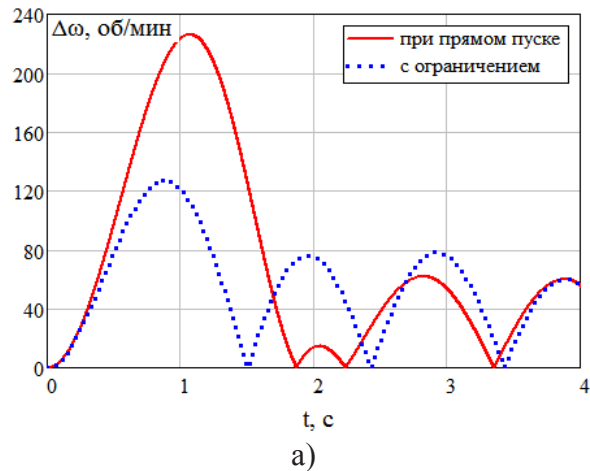
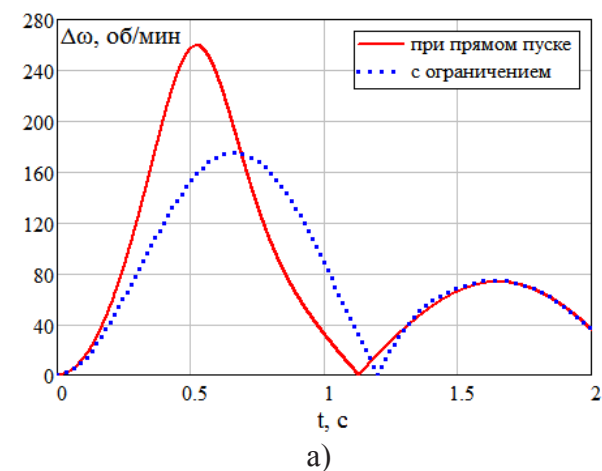


Рис. 2. Зависимости разности скоростей двух двигателей в режимах прямого пуска и с ограничением по заданному пусковому току при моменте инерции $J = 0,39 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$:
а) при $f = 3 \text{ Гц}$; б) при $f = 9 \text{ Гц}$;
в) при $f = 27 \text{ Гц}$.

Рис. 3. Зависимости разности скоростей двух двигателей в режимах прямого пуска и с ограничением по заданному пусковому току при моменте инерции $J = 1,17 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$:
а) при $f = 3 \text{ Гц}$; б) при $f = 9 \text{ Гц}$; в) при $f = 27 \text{ Гц}$.

При выходе на естественную характеристику имеет место одинаковое значение рассогласования скоростей двух АДФР в режимах прямого пуска и с ограничением по заданному пусковому току.

Выводы

Предложена схема импульсного преобразователя для согласованного вращения двух асинхронных двигателей с фазным ротором с ограничением по заданному пусковому току.

Использование импульсного преобразователя с ограничением по заданному пусковому току в период пуска обеспечивает уменьшение рассогласования в 1,2–1,8 раза в зависимости от частоты собственных колебаний упругих связей плеч крана. Чем меньше эта частота, тем выше эффективность от применения преобразователя.

Преобразователь также обеспечивает рекуперацию энергии скольжения при формировании статической и динамической характеристик при достаточно простой схеме реализации, что обеспечивает её надёжность.

Схема может быть рекомендована для модернизации электроприводов с АДФР механизмов перемещения кранов.

Список использованной литературы

1. Палис Ф. Анализ поперечных колебаний мостового крана при изменении положения тележки [Текст] / Ф. Палис, О. И. Толочко, Д. В. Бажутин // Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика –Х: НТУ «ХПИ» - 2013 - №36(1009), С.36-39.
2. Aaltonen M. Direct torque control of AC motor drives [Text] / M. Aaltonen, P. Tiitinen, J. Lalu, S. Heikkilä // ABB Review. 1995. No 3. P. 19–24.
3. Amin A. Induction Motors. Analysis and Torque Control [Text] / A. Amin, D. Bahram, Series: Power Systems., 2001, XV, 262 p., Hardcover.
4. Godfrey F. R. New Variable speed drive system for cranes [Text] / F. R. Godfrey // BHP Techn. Bull., 1981, 25 H 2, P. 81–83.
5. Terede G. Speed, flux and torque estimation of induction motor drives with adaptive system model [Text] / G. Terede, R. Belmans // International conference on Power electronics, machines and drives, Bath, UK, April 16-18, 2002; P. 498–503.
6. Герасимьяк Р. П. Анализ и синтез крановых электромеханических систем [Текст] / Р. П. Герасимьяк, В. А. Лещев – Одесса, СМИСЛ, 2008. – 192 с.
7. Busschots F., Renier B., Belmans R. Direct torque control: application to crane drives [Text] / F. Busschots, B. Renier, R. Belmans // 7th European conference on power electronics and applications EPE, Trondheim, Norway, September 8-10, 1997. – P. 4579–4584.
8. Donald W., Novotny, A. Frederick Path. The Analysis of Induction Machines Controlled by Series Connected Semiconductor Switches [Text] / W. Donald, A. Novotny, P. Frederick // IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, February 1968, Vol. PAS-87, No. 2, P. 597–605.
9. Волков И. В. Электроприводы с частотно-стабилизированным током в силовых цепях [Текст] / И. В. Волков, В. И. Исаков – М.: Радио и связь – 1991. – 216 с.
10. Шевченко И. С. Регулируемый источник тока для электроприводов / И. С. Шевченко, Д. И. Морозов, Н. И. Андреева, С. В. Калужный // Вісник Кременчуцького державного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук : КДУ. – 2010. – Ч.1, Вип. 3(62). – С. 53–56
11. Волков И. В. Преобразователь токопараметрического асинхронно-вентильного каскада / И. В. Волков, В. В. Калужный, С. В. Калужный // Электричество. – Москва : МЭИ. – 2009. – № 11. – С. 57–61.
12. Коцур М. И. Сравнительный анализ энергоэффективности систем регулирования асинхронного двигателя с фазным ротором [Текст] / М. И. Коцур, П. Д. Андриенко, И. М. Коцур // Ползуновский вестник. – Барнаул: АлтГТУ. – 2013. – № 4-2. – С. 114–120.
13. Коцур М. И. Особенности режимов работы модифицированной системы импульсного регулирования асинхронного двигателя с фазным ротором [Текст] / М. И. Коцур, П. Д. Андриенко, И. М. Коцур, // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – Кременчук: КрНУ, 2012. – № 3 (19) – С. 163–165.
14. Коцур М. И. Повышение энергоэффективности схемы импульсного регулирования в цепи выпрямленного тока ротора [Текст] / М. И. Коцур // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – Кременчук: КрНУ, 2011. – № 2 (14) – С. 86–89.

References

1. Palis F. Analysis of the transverse vibrations of the bridge crane at change of position carts [Text] / F. Palis, O. I. Tolochko, D. V. Bazhutin // Problem of automatization electro drive. Theory and practice – Ch: NTU «ChPI» – 2013 – № 36 (1009), P. 36–39. [in Russian]
2. Aaltonen M. Direct torque control of AC motor drives [Text] / M. Aaltonen, P. Tiitinen, J. Lalu, S. Heikkila // ABB Reviev. 1995. No 3. P. 19–24. [in English]
3. Amin A. Induction Motors. Analysis and Torque Control [Text] / A. Amin, D. Bahram, Series: Power Systems., 2001, XV, 262 p., Hardcover. [in English]
4. Godfrey F.R. New Variable speed drive system for cranes [Text] / F.R. Godfrey // BHP Techn. Bull., 1981, 25 H 2, P. 81–83. [in English]
5. Terede G. Speed, flux and torque estimation of induction motor drives with adaptive system model [Text] / G. Terede, R. Belmans // International conference on Power electronics, machines and drives, Bath, UK, April 16-18, 2002. P. 498–503. [in English]
6. Gerasimyak R. P. Analysis and synthesis of crane electromechanical systems [Text] / R. P. Gerasimyak, V. A. Leshev – Odessa, SMUSL, 2008. – 192 p. [in Russian]
7. Busschots F., Renier B., Belmans R. Direct torque control: application to crane drives [Text] / F. Busschots, B. Renier, R. Belmans // 7th European conference on power electronics and applications EPE, Trondheim, Norway, September 8-10, 1997. – P. 4579–4584. [in English]
8. Donald W., Novotny, A. Frederick Path. The Analysis of Induction Mashines Controlled by Series Connected Semiconductor Switches [Text] / W. Donald, A. Novotny, P. Frederick // IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, February 1968, Vol. PAS-87, No. 2, P. 597–605. [in English]
9. Volkov I. V. Electric drives with constant current in power circuits [Text] / I. V. Volkov, V. I. Isacov – M.: Radio i svyaz' – 1991. – 216 p. [in Russian]
10. Shevchenko I. S. Adjustable current source for electric drives / I. S. Shevchenko, D. I. Morozov, N. I. Andreeva, S. V. Kaluzhnuy // Vesnuk Kremenchukskogo gosudarstvennogo universiteta im. Michaila Ostrogranskogo. – Kremenchuk: KGU. – 2010. – P.1, 3(62). – P. 53–56 [in Russian]
11. Volkov I. V. Preobrazovatel' tokoparamentricheskogo asinchronno-ventil'nogo kaskada / I. V. Volkov, V. V. Kaluzhnuy, S. V. Kaluzhnuy // Elektrichestvo. – Moskva : MEI. – 2009. – № 11. – P. 57–61. [in Russian]
12. Kotsur M. I. Comparative analysis of energy efficiency of drive control system of asynchronous motor with phase rotor [Text] / M. I. Kotsur, P. D. Andrienko, I. M. Kotsur // Polzunovsky vestnik. – Barnaul: AltGTU. – 2–13. – № 4-2. – P. 114–120. [in Russian]
13. Kotsur M. I. Operation modes features of modificate pulse control system of asynchronous motor with phase rotor [Text] / M. I. Kotsur, P. D. Andrienko, I. M. Kotsur // Electromechanical and energy saving systems. – Kremenchuk: KrNU. – 2012. – № 3 (19). – P. 163–165 [in Russian].
14. Kotsur M. I. Improving energy efficiency schemes in the pulse control circuit of rectified rotor current [Text] / M. I. Kotsur // Electromechanical and energy saving systems. – Kremenchuk: KrNU. – 2011. – № 2 (14). – P. 86–89 [in Russian].

Поступила в редакцию 20.07 2014 г.